

休闲期复种绿肥冬油菜对陇中旱地春小麦 氮磷利用率和产量的影响

张宝时¹, 李国权¹, 裴希谦¹, 鞠青夏¹, 张金兰², 杨 钊³, 牛树君⁴, 曹世勤⁴
(1. 甘肃省农业科学院榆中高寒农业试验站, 甘肃 榆中 730010; 2. 张掖市农畜产品
检验检测中心, 甘肃 张掖 734000; 3. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070;
4. 甘肃省农业科学院植物保护研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 氮、磷肥对春小麦的产量形成具有重要作用, 为提高春小麦氮磷的吸收和利用, 通过田间试验, 研究了休闲期种植翻压绿肥冬油菜对小麦产量及籽粒、秸秆氮磷吸收利用效率的影响。结果表明, 休闲期种植翻压绿肥冬油菜后春小麦生物量和籽粒产量提高了 23.03% 和 17.68%; 籽粒、秸秆中氮含量分别降低了 5.44%、27.39%, 秸秆氮吸收量降低了 8.69%, 籽粒氮吸收量提高了 11.29%; 籽粒中磷含量提高了 11.35%, 秸秆中磷含量降低了 10.00%, 籽粒、秸秆中磷吸收量分别提高了 30.84%、12.50%。氮肥偏生产力与氮素利用效率分别提高了 17.65%、12.18%, 磷肥偏生产力提高了 17.65%, 磷素利用效率降低了 5.34%。综上, 休闲期麦后复种绿肥冬油菜可提高小麦籽粒的磷含量、氮磷吸收量、氮磷肥偏生产力以及氮素利用效率, 进而有效提高小麦产量。

关键词: 绿肥冬油菜; 春小麦; 氮素利用效率; 磷素利用效率; 产量

中图分类号: S344.3; S512.1 文献标志码: A 文章编号: 2097-2172(2024)10-926-05

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2024.10.008

Effects of Green Fertilizer Winter Rape Multi-cropped in Leisure Period on Nitrogen and Phosphorus Utilization Efficiencies and Yields of Spring Wheat in Dryland Areas of Central Gansu

ZHANG Baoshi¹, LI Guoquan¹, PEI Xiqian¹, JU Qingxia¹, ZHANG Jinlan², YANG Zhao³,
NIU Shujun⁴, CAO Shiqin⁴

(1. Yuzhong Alpine Agricultural Experimental Station, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730100, China;
2. Zhangye Agricultural and Livestock Agricultural Products Inspection and Testing Centre, Zhangye Gansu 734000, China;
3. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 4. Institute of Plant Protection,
Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: Nitrogen and phosphorus play an important role in the formation of spring wheat yield. In order to improve the uptake and utilization of nitrogen and phosphorus in spring wheat, field experiments were conducted to study the effects of planting and pressing winter rape in leisure period on wheat yield and nitrogen and phosphorus uptake and utilization efficiency of wheat grain and straw. The results showed that the biomass and grain yield of spring wheat increased by 23.03% and 17.68%, respectively. Nitrogen content in grain and straw decreased by 5.44% and 27.39%, respectively. Nitrogen uptake in straw decreased by 8.69%, and nitrogen uptake in grain increased by 11.29%. Phosphorus content in grain increased by 11.35%, phosphorus content in straw decreased by 10.00%, and phosphorus uptake in grain and straw increased by 30.84% and 12.50%, respectively. Nitrogen partial productivity and nitrogen use efficiency increased by 17.65% and 12.18%, respectively, phosphorus partial productivity increased by 17.65%, and phosphorus use efficiency decreased by 5.34%. In conclusion, multiple planting of winter rape as green fertilizer during fallow period can improve the phosphorus content, nitrogen and phosphorus uptake, nitrogen and phosphorus fertilizer partial productivity and nitrogen use efficiency of wheat grains, and then effectively increase wheat yield.

Key words: Green fertilizer winter rape; Spring wheat; Nitrogen use efficiency; Phosphorus use efficiency; Yield

收稿日期: 2024-06-12

基金项目: 甘肃省农业科学院重点研发计划(2023GAAS24); 甘肃省农业科学院生物育种专项(2022GAAS006)。

作者简介: 张宝时(1987—), 男, 甘肃静宁人, 助理研究员, 主要从事作物育种与栽培技术研究工作。Email: 492746531@qq.com。

通信作者: 牛树君(1980—), 男, 甘肃靖远人, 副研究员, 硕士, 主要从事农田杂草防治研究工作。Email: 43213904@qq.com。

氮磷元素对提高小麦产量和品质有着极其重要的作用。氮素是构成小麦叶绿体的重要原料, 充足的氮素供应可促进小麦生长旺盛, 保证后期籽粒饱满, 提高产量^[1]。小麦籽粒含氮量直接影响其面粉的蛋白含量, 籽粒的氮素利用情况也影响着其他微量元素的吸收与利用^[2]。氮肥缺失会导致小麦生长缓慢、早熟早衰。因此, 提高土壤的供氮水平对保证小麦生长发育、提高小麦产量极为重要。磷是植物细胞核的重要组成物质之一, 能促进细胞的分裂和繁殖、增强光合作用、促进小麦根系发育、提高小麦抗逆能力^[3]。施用磷肥可以促进小麦幼苗的生长, 提早成熟, 增加籽粒数量, 提高籽粒饱满度, 进而提高小麦产量^[4]。施用化肥是目前提高土壤氮磷元素水平, 保证氮磷元素充分供应的主要措施, 然而化肥的过量施用会导致土壤生态破坏及环境污染等问题^[5]。近年来, 随着化肥减量增效技术不断发展, 绿肥替代部分化肥的技术不断完善, 在提高作物产量和改善生态环境方面取得了较好的效果^[6]。

油菜是一种重要的生态经济作物, 可以作为绿肥在休闲期种植并于春耕时翻压还田, 在提高土壤肥力水平和后茬作物产量方面发挥着积极作用。绿肥油菜能有效改善土壤质量、调节土壤养分、降低土壤容重、提高农田土壤有机质含量和酶活性、增加土壤速效氮及速效磷含量^[5-7]。翻压油菜还田可以有效提高后茬作物对氮磷等营养元素的吸收利用, 提高作物产量^[8-12]。现有研究大多为油菜还田对小麦产量和土壤特性的影响, 对肥料利用方面鲜有报道。为此, 本研究设置春小麦麦后复种绿肥冬油菜模式, 探究冬油菜翻压对后茬春小麦氮磷利用的影响, 以期推广麦后复种绿肥油菜提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2022—2023 年在甘肃省定西市安定区李家堡镇麻子川村 (35° 28' N, 104° 44' E) 进行。试验区地处黄土高原半干旱区, 海拔 1 971 m, 为大陆性季风气候, 气候干燥, 年均气温 5.7~7.7 °C, 年无霜期 140 d, 年均降水量 390.7 mm, 年蒸发量 1 531.0 mm, 远大于年降水量, 无灌溉条件, 属于典型的半干旱雨养农业区。土壤类型为黄绵沙质

土壤, 0~200 cm 深度的土壤理化性状为全氮 0.77 g/kg、全磷 1.87 g/kg、速效氮 33.06 mg/kg、速效磷 10.03 mg/kg, pH 8.33。

1.2 供试材料

供试春小麦品种为定西 40 号, 由甘肃省定西市农业科学研究院提供; 供试冬油菜品种为天油 8 号, 由天水市农业科学研究所提供。

1.3 试验设计

冬油菜于 2022 年 8 月上旬播种, 2023 年在小麦播种前翻压入土。小麦于 2023 年 3 月初播种, 7 月底至 8 月上旬收获。试验采用随机区组排列, 3 次重复, 小区面积 44.0 m² (5.5 m × 8.0 m)。试验共设 2 个处理: T, 小麦休闲期种植冬油菜, 于次茬小麦播种前将冬油菜全株翻压; CK(对照), 小麦休闲期不作任何处理。所有处理小麦播量均为 225 kg/hm², 尿素(N 46%)和普通过磷酸钙 (P₂O₅ 20%) 施用量均为 105 kg/hm², 所有肥料做基肥一次性施入。

1.4 测试项目和方法

1.4.1 小麦收获期生物量和产量测定 小麦成熟期, 每个小区随机抽取 8~10 株测定穗数、穗粒数。每个小区收获 1~2 m², 晒干、脱粒测定千粒重、秸秆产量和籽粒产量 (折算为含水量 12.5% 的标准产量), 计算收获指数(HI)。

收获指数(HI)=(经济产量/生物产量) × 100%

1.4.2 全氮测定 将小麦样品的秸秆部分与籽粒部分分开, 分别烘干、粉碎、称重, 通过浓 H₂SO₄-K₂SO₄: CuSO₄: Se 催化后用凯氏定氮法测定^[13], 用 FOSS 全自动定氮仪(Foss Kjeltac 8400)测定样品秸秆和籽粒的全氮。

秸秆(籽粒)氮吸收量=[秸秆(籽粒)生物量 × 秸秆(籽粒)氮含量]/100

氮素利用效率(NUE)=籽粒产量/氮素吸收量

氮肥偏生产力(PFPN)=施氮后所获得的作物产量/施氮量

1.4.3 全磷测定 粉碎样品秸秆和样品籽粒后, 分别称取 0.25 g, 采用 H₂SO₄-H₂O₂ 法消煮, 消煮液钼锑抗比色法测定全磷^[14]。

秸秆(籽粒)磷吸收量=[秸秆(籽粒)生物量 × 秸秆(籽粒)磷含量]/100

磷素利用效率(PUE)=籽粒产量/磷素吸收量

磷肥偏生产力(PFPP)=施磷后所获得的作物产量/施磷量

1.5 数据统计与分析

试验数据采用 Excel 2019 进行分析汇总, 使用 SPSS Statistics 25.0 软件的 Duncan 法进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 休闲期种植翻压冬油菜对春小麦产量的影响

由图 1 可以看出, T 处理下小麦的生物量、秸秆产量和籽粒产量均显著高于 CK 处理($P<0.05$), 分别较 CK 处理增加了 1110、826、284 kg/hm², 提高了 23.03%、25.70%、17.68%, 其中秸秆产量的增幅最大。由此可知, 休闲期种植翻压冬油菜能显著提高后茬小麦的生物量、秸秆产量、籽粒产量, 对小麦增产起积极作用。

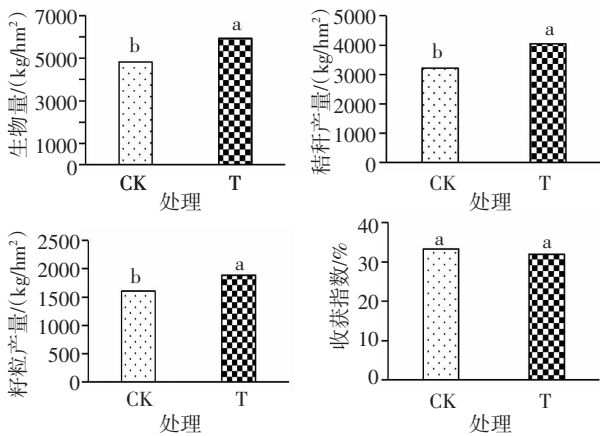


图 1 休闲期种植翻压冬油菜对小麦产量的影响

2.2 休闲期种植翻压冬油菜对收获期小麦不同器官氮磷含量的影响

由图 2 可知, 休闲期种植翻压冬油菜对收获期不同器官氮和磷含量有显著影响。T 处理秸秆和籽粒氮含量均显著低于 CK 处理($P<0.05$), 分别较 CK 处理降低了 27.39%、5.44%。T 处理小麦秸秆中的磷含量显著低于 CK 处理($P<0.05$), 降低了 10.00%; 籽粒中的磷含量显著高于 CK 处理($P<$

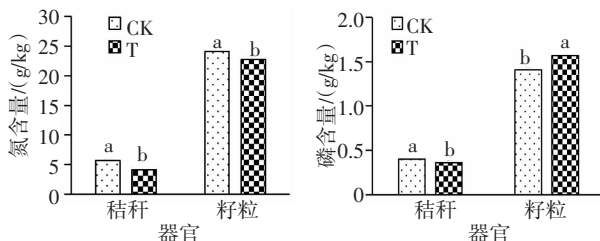


图 2 休闲期种植翻压冬油菜对小麦收获期不同器官氮磷含量的影响

0.05), 升高了 11.35%。综上, 休闲期种植翻压冬油菜会降低后茬小麦秸秆中的氮磷含量和籽粒中的氮含量, 提高后茬小麦籽粒中的磷含量。

2.3 休闲期种植翻压冬油菜对收获期小麦氮磷吸收量的影响

由图 3 可以看出, 休闲期种植翻压冬油菜对小麦收获期氮和磷的吸收量有显著影响。T 处理小麦总氮吸收量显著高于 CK 处理($P<0.05$), 较 CK 处理增加了 4.88%。其中, 籽粒的氮吸收量显著高于 CK 处理 ($P<0.05$), 提高了 11.29%; 秸秆的氮吸收量显著低于 CK 处理($P<0.05$), 降低了 8.69%。T 处理下小麦秸秆和籽粒的磷吸收量均显著高于 CK 处理($P<0.05$), 分别提高了 12.50%、30.84%, 总磷吸收量提高了 24.23%。由此可知, 休闲期种植绿肥冬油菜提高了小麦籽粒的氮磷吸收量及秸秆的磷吸收量, 降低了秸秆的氮吸收量, 但秸秆氮吸收量降幅低于籽粒增幅, 因此小麦的氮、磷吸收量总体提高。

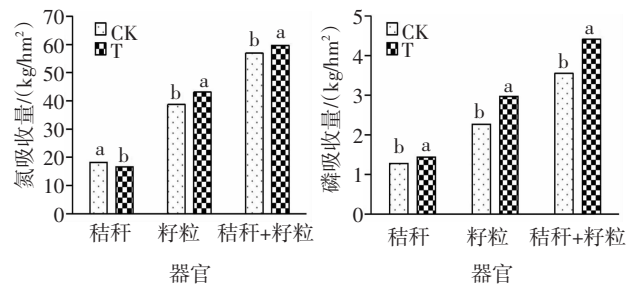


图 3 休闲期种植翻压冬油菜对小麦收获期氮磷吸收量的影响

2.4 休闲期种植翻压冬油菜对小麦氮磷肥利用率和偏生产力的影响

由图 4 可以看出, 休闲期复种绿肥冬油菜显著

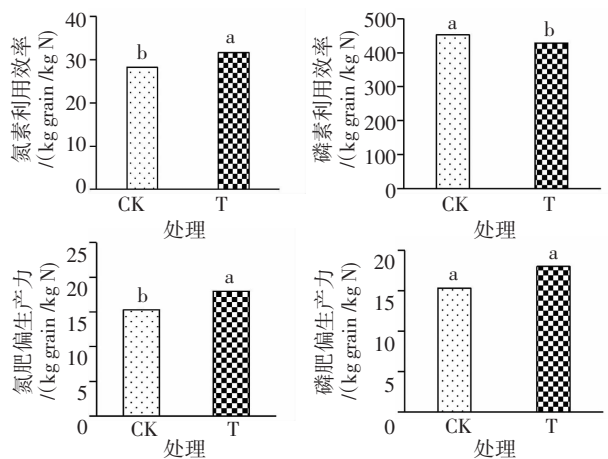


图 4 休闲期种植翻压冬油菜对小麦氮磷肥偏生产力、氮磷素利用效率的影响

影响小麦氮磷元素利用效率和偏生产力。T 处理小麦氮素利用效率和氮肥偏生产力均显著高于 CK 处理 ($P < 0.05$), 分别提高了 12.18%、17.65%。T 处理小麦磷素利用效率显著低于 CK 处理 ($P < 0.05$), 降低了 5.34%; 磷肥偏生产力显著高于 CK 处理 ($P < 0.05$), 提高了 17.65%。结果表明, 休闲期麦后复种绿肥冬油菜可显著提高小麦氮肥偏生产力、磷肥偏生产力、氮素利用效率, 降低磷素利用效率。

3 讨论与结论

氮素对穗数、穗粒数、粒重等小麦产量相关性状具有显著影响, 小麦籽粒含氮量直接影响面粉的蛋白含量及品质^[15]。小麦籽粒含氮量与籽粒产量呈负相关。刁超朋等^[2]对我国 123 个小麦品种进行的田间试验发现, 籽粒产量每增加 1 000 kg/hm², 含氮量平均降低 1.1 g/kg。本研究发现, 休闲期复种翻压冬油菜后, 小麦籽粒产量显著升高, 而籽粒和秸秆中氮含量降低了 5.44% 和 27.39%。因此, 休闲期种植翻压冬油菜后小麦的籽粒品质可能会略有降低。小麦籽粒的氮吸收量提高了 11.29%, 而秸秆的氮吸收量降低了 8.69%, 秸秆和籽粒氮吸收量的差异增大, 可能是因为绿肥还田会促进秸秆氮素向籽粒转运, 提高籽粒贡献率^[16]。另外, 休闲期种植翻压冬油菜处理下小麦氮素利用效率和氮肥偏生产力分别提高了 12.18%、17.65%, 可归因为油菜翻压激活了土壤中的固态氮, 增加了土壤中碱解氮含量, 提高了小麦对氮素的吸收与利用^[7, 17]。

油菜根系分泌的有机酸能活化土壤中的难溶性磷, 提高土壤有效磷水平, 使得小麦根系吸收更多的土壤有效磷, 进而使籽粒中储存更多的磷^[18]。本研究中, 休闲期麦后复种绿肥冬油菜处理下小麦籽粒的含磷量提高了 11.35%。另外, 休闲期麦后复种绿肥冬油菜处理下小麦秸秆的磷含量降低了 10.00%, 可能是由于绿肥的腐解过程缓慢, 腐解前期的土壤有效磷含量不能满足小麦的需磷量, 致使秸秆中的磷向籽粒转移。王焯^[19]研究发现, 夏闲期种植并翻压油菜处理能显著增加小麦籽粒和茎秆磷吸收量, 这与本研究中小麦籽粒和秸秆磷吸收量分别提高了 30.84%、12.50% 结果一致。本研究发现, 休闲期麦后复种绿肥冬油菜处理下小麦磷肥偏生产力显著提高了 17.65%, 可能是因

为翻压油菜会活化土壤中的难溶性磷, 增加了土壤有效磷的含量。然而, 小麦的磷素利用效率在休闲期麦后复种绿肥冬油菜后显著降低了 5.34%, 可能是因为供试春小麦材料定西 40 号属于旱地品种, 前期生长发育缓慢, 对水肥反应迟钝^[20]。小麦在干旱条件下拥有较高的磷素利用效率, 而油菜翻压增加了 0~20 cm 土层的含水量及土壤有机质含量, 改变了土壤水分胁迫的环境, 致使春小麦定西 40 号的磷素利用率降低^[21-22]。另外, 休闲期麦后复种绿肥冬油菜对小麦磷素吸收利用的影响可能会因品种的不同而存在差别, 具体差异有待进一步研究。

小麦的播种季节和绿肥种类的不同会对后茬小麦的产量产生不同的影响^[23-24]。种植并翻压油菜可以提高小麦冬季单株分蘖数, 增加小麦成熟期的单位面积穗数, 提高小麦的籽粒产量^[19]。本研究中, 休闲期麦后复种绿肥冬油菜处理下后茬春小麦的产量、籽粒产量分别提高了 23.03%、17.68%。卢涌^[25]研究发现, 绿肥油菜的生物量和养分积累量随播种时期的推迟而显著降低。绿肥油菜的最佳播种时期为 7 月下旬至 8 月初, 本研究中, 绿肥冬油菜于 8 月上旬播种, 其生物量和养分积累量在翻压入土时达到了较高水平, 以至于在后续的腐解过程中能够释放更多的有效养分, 有效提高了土壤养分水平, 进而提高了小麦产量^[26]。在本研究中, 休闲期复种翻压绿肥后小麦的收获指数略有下降, 但差异不显著, 说明休闲期复种翻压绿肥对后茬小麦植株营养物质的分配影响较小。综上所述, 休闲期麦后复种绿肥冬油菜能有效增加小麦籽粒的磷含量和氮、磷吸收量, 提高氮素利用效率, 利于小麦产量的提高。

参考文献:

- [1] 王公卿, 郑志松, 李 萌. 氮素对小麦生长发育、产量和品质形成的影响[J]. 河南农业, 2017(16): 48-49.
- [2] 刁超朋, 王朝辉, 李莎莎, 等. 旱地高产小麦品种籽粒氮含量差异与氮磷钾吸收利用的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(2): 285-295.
- [3] 花明明, 衡 丽, 胡大鹏, 等. 氮肥对小麦后直播棉生长发育及氮素积累的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43 (12): 73-76.
- [4] 郑志松, 王公卿. 磷素对小麦生长发育、产量和品质

- 形成的影响[J]. 河南农业, 2012(17): 14-15.
- [5] 潘忠祥, 王 晶, 陈志霞, 等. 绿肥对土壤生物活性效应的研究进展[J]. 新农业, 2015(23): 23-25.
- [6] 周 鹏. 麦后复种油菜有机无机肥配施与翻压方式对土壤肥力及作物产量的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2020.
- [7] 邓力超, 李 莓, 范连益, 等. 绿肥油菜翻压还田对土壤肥力及水稻产量的影响[J]. 湖南农业科学, 2018(2): 18-20.
- [8] 魏 静. 不同冬季覆盖作物对土壤养分及雨养玉米生长特征的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [9] 王丹英, 彭 建, 徐春梅, 等. 油菜作绿肥还田的培肥效应及对水稻生长的影响[J]. 中国水稻科学, 2012, 26(1): 85-91.
- [10] 朱吉凤, 蒋美艳, 曹黎明, 等. 油菜作绿肥还田利于水稻生长和产量提高[J]. 分子植物育种, 2024, 22(22): 7501-7506.
- [11] 刘 慧, 李子玉, 白志贵, 等. 油菜绿肥翻压还田对新疆盐碱土壤的改良效果研究[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(6): 914-923.
- [12] 亢锦奇. 春播油菜对后茬作物产量的影响[J]. 新农业, 2022(1): 25-26.
- [13] 邱 城. 凯氏定氮仪在高原条件下测定土壤全氮含量的方法[J]. 西藏农业科技, 2016, 38(2): 21-23.
- [14] 秦 琳, 黄世群, 仲伶俐, 等. 杜马斯燃烧法和凯氏定氮法在土壤全氮检测中的比较研究[J]. 中国土壤与肥料, 2020(4): 258-265.
- [15] 孙 梦. 不同土壤肥力下施氮量对小麦产量和品质的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2022.
- [16] 王国瑾, 张松茂, 胡发龙, 等. 绿洲灌区春小麦产量和氮素利用率对绿肥还田量的响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(7): 1164-1172.
- [17] 王春丽, 杨建利, 王周礼, 等. 黄土高原沟壑区果园绿肥油菜翻压对土壤水肥的影响[J]. 西北农业学报, 2021, 30(2): 287-294.
- [18] DAKORA F D, PHILLIPS D A. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments [J]. *Plant and Soil*, 2002, 245(1): 35-47.
- [19] 王 焯. 旱地不同绿肥和施磷量对土壤肥力、冬小麦生长及磷肥减量效应研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [20] 牟丽明, 王化俊, 朱润花, 等. 春小麦品种定西40号良种生产技术[J]. 中国种业, 2013(2): 62-63.
- [21] 郑景瑞, 王云凤, 韩 燕, 等. 陕西关中不同小麦品种产量以及氮磷效率差异研究[J]. 麦类作物学报, 2021, 41(3): 295-304.
- [22] 苏宝财, 赵阳佳, 张震东, 等. 京郊地区不同绿肥作物还田的土壤理化性状[J]. 北京农学院学报, 2022, 37(2): 7-12.
- [23] 毛小红, 李正鹏, 严清彪, 等. 青海高原麦后复种毛叶苕子对小麦体内养分积累、转运和分配的影响[J]. 青海大学学报, 2022, 40(1): 41-48.
- [24] 李富翠. 渭北旱地夏闲期秸秆还田和种植绿肥对土壤水分养分和冬小麦生长的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [25] 卢 涌. 河套灌区麦后复种绿肥油菜关键技术参数研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2021.
- [26] 杨 璐. 种植翻压二月兰对春玉米氮素吸收与利用的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.